

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 10 APR 2003

WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 11 283.5

**Anmeldetag:** 14. März 2002

**Anmelder/Inhaber:** ROBERT BOSCH GMBH,  
Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zum Betreiben eines Kraft-  
stoffzumesssystems eines Kraftfahr-  
zeugs, Computerprogramm, Steuergerät  
und Kraftstoffzumesssystem

**IPC:** F 02 M, F 02 D

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. Januar 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

Ebert

14.03.02 Wj/Bc

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

Verfahren zum Betreiben eines Kraftstoffzumesssystems eines Kraftfahrzeugs, Computerprogramm, Steuergerät und Kraftstoffzumesssystem

Stand der Technik

15

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Kraftstoffzumesssystems eines Kraftfahrzeugs, wobei von wenigstens einer Förderpumpe Kraftstoff in wenigstens einen Hochdruckbereich gefördert wird, wobei der Kraftstoff aus dem Hochdruckbereich mittels wenigstens eines Einspritzventils direkt in wenigstens einen Brennraum eingespritzt wird, wobei wenigstens ein Sensor den Druck im Hochdruckbereich erfasst und wobei wenigstens ein Druckstellglied zur Einstellung des Druckes im Hochdruckbereich vorgesehen ist.

20

30

Die Erfindung betrifft weiterhin ein Computerprogramm für eine Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs sowie ein Steuergerät zum Betreiben eines Kraftstoffzumesssystems eines Kraftfahrzeugs und ein Kraftstoffzumesssystem für eine Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs.

35

Gattungsgemäße Kraftstoffzumesssysteme für Kraftfahrzeuge sind beispielsweise unter dem Namen Common-Rail-System bekannt. Bei diesen Systemen wird mittels einer ersten

Kraftstoffpumpe Kraftstoff aus einem Kraftstoffvorratsbehälter in einen ersten Druckbereich gefördert. Ausgehend von diesem ersten Druckbereich wird der Kraftstoff mittels einer Hochdruckpumpe in ein sogenanntes Common-Rail befördert. In diesem Common-Rail befindet sich der Kraftstoff unter einem sehr hohen Druck. Im Fall eines Diesel-Common-Rail-Systems, beispielsweise Drücke bis zu 2000 Bar und im Falle eines Benzin-Common-Rail-Systems, beispielsweise Drücke bis zu 150 Bar. Der Kraftstoff wird von dem Common-Rail aus mittels eines Einspritzventils zu vorgebbaren Zeitpunkten direkt in einen Brennraum der Brennkraftmaschine eingespritzt.

In der Regel ist im Hochdruckbereich, meistens unmittelbar am Common-Rail, ein Druckstellglied, beispielsweise ein Drucksteuerventil o. ä. angeordnet. Dieses Druckstellglied kann von einem Steuergerät, in der Regel das Motorsteuergerät, derart angesteuert werden, dass verschiedene Drücke im Common-Rail darstellbar sind. Die verschiedenen Drücke werden hierbei beispielsweise an die verschiedenen Betriebssituationen angepasst, in denen verschiedene Druckwerte für den optimalen Verbrennungsprozess sinnvoll sind.

Eine besondere Problematik bei einem Common-Rail-System ergibt sich in der Startphase, da im Moment des Startens der Brennkraftmaschine der Druck im Common-Rail im Extremfall lediglich einem Vordruck entspricht. Es ist somit für eine optimale Verbrennung erforderlich, den Druck im Common-Rail möglichst schnell auf den normalen Betriebsdruck anzuheben. Hierzu wird beispielsweise vom Steuergerät mittels des Druckstellgliedes die Einstellung eines maximalen Raildrucks vorgegeben. Während der Phase, in der der Raildruck auf den Normalwert ansteigt, ergibt sich naturgemäß eine sehr große zeitliche Druckänderung im Rail, was die bestimmungsgemäße

Zumessung von Kraftstoff erschwert. Durch die transienten Druckverhältnisse im Common-Rail ist es für das Steuergerät nahezu unmöglich, eine Einspritzzeit zu berechnen, die der tatsächlich gewünschten Kraftstoffeinspritzmenge entspricht. Dies resultiert auch mitunter daraus, dass zunächst eine Berechnung der Kraftstoffeinspritzzeit durchgeführt wird und erst im Anschluss das Kraftstoffeinspritzventil entsprechend angesteuert werden kann. Es gibt also eine zeitliche Differenz zwischen der Berechnung der Einspritzung und der eigentlichen Einspritzung selbst. Innerhalb dieser Zeitdauer besteht die Möglichkeit, dass sich aufgrund der transienten Druckverhältnisse im Common-Rail ein anderer Kraftstoffdruck einstellt, als vom Steuergerät bei der Berechnung der Einspritzzeit berücksichtigt.

#### Aufgabe der Erfindung

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Betreiben eines gattungsgemäßen Kraftstoffzumesssystems anzugeben, das die wunschgemäße Zumessung von Kraftstoff gegenüber dem Stand der Technik verbessert.

#### Lösung und Vorteile der Erfindung

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zum Betreiben eines Kraftstoffzumesssystems eines Kraftfahrzeugs, wobei von wenigstens einer Förderpumpe Kraftstoff in wenigstens einen Hochdruckbereich gefördert wird, wobei der Kraftstoff aus dem Hochdruckbereich mittels wenigstens eines Einspritzventils direkt in wenigstens einen Brennraum eingespritzt wird, wobei wenigstens ein Sensor den Druck im Hochdruckbereich erfasst, wobei wenigstens ein Druckstellglied zur Einstellung des Druckes im Hochdruckbereich vorgesehen ist und wobei die zeitliche Änderung des Druckes im Hochdruckbereich begrenzt wird.

Durch diese erfindungsgemäße Begrenzung der zeitlichen Änderung des Druckes im Hochdruckbereich wird zuverlässig die bestimmungsgemäße Kraftstoffzumessung verbessert. Dadurch, dass der Raildruckgradient auf einen Maximalwert begrenzt wird, wird auch die Genauigkeit der Kraftstoffzumessung erhöht, da sich durch die Begrenzung des Raildruckgradientens eine maximale vorgebbare Raildruckdifferenz zwischen den Zeitpunkten ergibt, in denen eine Kraftstoffeinspritzung berechnet wird und dem Zeitpunkt, zu dem eine Kraftstoffeinspritzung durch Ansteuerung des Kraftstoffeinspritzventils ausgeführt wird.

Eine erste vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Begrenzung der zeitlichen Änderung des Druckes im Hochdruckbereich in Abhängigkeit von einer maximal möglichen Förderung der Förderpumpe erfolgt. Hierbei wird der maximal erlaubte Raildruckgradient vorteilhaft auf einen Wert festgelegt, der im Bereich der physikalisch maximal möglichen Werte des Kraftstoffzumesssystems liegt. Durch diese erfindungsgemäße Maßnahme wird die Regelung des Raildrucks verbessert. Vorteilhaft sind die hierbei zulässigen Druckgradientenwerte in drehzahl- und lastabhängigen Kennfeldern in einem Speicher des Steuergeräts abgelegt. Auf diese Weise kann der maximal zulässige Raildruckgradient in idealer Weise an jede beliebige Betriebssituation angepasst bzw. adaptiert werden.

Die bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass die Begrenzung der zeitlichen Änderung des Druckes im Hochdruckbereich in Abhängigkeit von einem vorgebbaren Einspritzmengenfehler erfolgt. Durch diese erfindungsgemäße Maßnahme kann in besonders vorteilhafter Weise der maximale Einspritzmengenfehler vorgegeben werden, mit dem mögliche Abgasgrenzwerte gerade noch realisiert werden können. Da sich, wie bereits vorstehend erläutert,

praktisch immer eine zeitliche Diskrepanz zwischen der Einspritzzeitberechnung und der tatsächlichen Ansteuerung des Einspritzventils ergibt, führt das erfindungsgemäße Verfahren besonders vorteilhaft zu einem berechenbaren maximalen Einspritzmengenfehler, dadurch, dass der maximale Raildruckgradient begrenzt wird. Besonders vorteilhaft ist die Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens, dass die Begrenzung der zeitlichen Änderung des Drucks im Hochdruckbereich jeweils in einem Zeitraum zwischen zwei Raildruckgradientenberechnungen vorgegeben wird. Hiermit orientiert sich das Verfahren besonders vorteilhaft an dem Raildruckgradientenberechnungstakt, der je nach Drehzahl der Brennkraftmaschine variiert.

Eine vorteilhafte Weiterbildung sieht vor, dass neben der Abhängigkeit vom Einspritzmengenfehler wenigstens der aktuelle Druck im Hochdruckbereich und/oder eine Abtastrate der Druckmessung im Hochdruckbereich und/oder eine Motordrehzahl und/oder spezifische Daten der Förderpumpe bei der Bestimmung der Begrenzung der zeitlichen Änderung des Raildrucks berücksichtigt werden. Unter den spezifischen Daten der Förderpumpe ist hierbei beispielsweise zu verstehen, wieviele Nocken über die Hochdruckpumpe angetrieben werden. Durch diese Berücksichtigung von weiteren Abhängigkeiten wird das erfindungsgemäße Verfahren besonders vorteilhaft an alle wesentlichen Einflussparameter des Kraftstoffzumesssystems angepasst.

Eine besonders bevorzugte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass auf wenigstens zwei verschiedene Arten Begrenzungswerte bestimmt werden, dass durch eine Vergleichsoperation der Minimalwert der Begrenzungswerte ermittelt wird und dass dieser Minimalwert als Begrenzung für die zeitliche Änderung des Druckes im Hochdruckbereich ausgewählt wird. Es wird also der minimale

Raildruckgradient ausgewählt, der sich durch verschiedene Bestimmungsarten ergibt. Hierdurch ist zu jedem Zeitpunkt sichergestellt, dass der Raildruckgradient in keiner Betriebssituation kritische Werte überschreitet.

5

Von besonderer Bedeutung ist die Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens in Form eines Computerprogramms, das für eine Brennkraftmaschine, insbesondere eines Kraftfahrzeugs, vorgesehen ist. Das Computerprogramm weist eine Abfolge von Befehlen auf, die dazu geeignet sind, das erfindungsgemäße Verfahren durchzuführen, wenn sie auf einem Computer ausgeführt werden.

10

15

Weiterhin kann die Abfolge von Befehlen auf einem computerlesbaren Datenträger gespeichert sein, beispielsweise auf einer Diskette, einer CD-ROM, einer DVD, einem sogenannten Flash-Memory oder dergleichen.

20

In diesen Fällen wird die Erfindung durch das Computerprogramm realisiert, so dass dieses Computerprogramm in gleicher Weise die Erfindung darstellt, wie das Verfahren, zu dessen Ausführung das Computerprogramm geeignet ist. Dies gilt dabei unabhängig davon, ob das Computerprogramm auf einem Speichermedium abgespeichert ist, oder ob es als solches - also unabhängig von einem Speichermedium - vorhanden ist.

30

Die Aufgabe wird weiterhin gelöst durch ein Steuergerät zum Betreiben eines Kraftstoffzumesssystems eines Kraftfahrzeugs, wobei von wenigstens einer Förderpumpe Kraftstoff in wenigstens einen Hochdruckbereich gefördert wird, wobei der Kraftstoff aus dem Hochdruckbereich mittels wenigstens eines Einspritzventils direkt in wenigstens einen Brennraum eingespritzt wird, wobei wenigstens ein Sensor den

35

Druck im Hochdruckbereich erfasst, wobei wenigstens ein Druckstellglied zur Einstellung des Druckes im Hochdruckbereich vorgesehen ist, und wobei die zeitliche Änderung des Druckes im Hochdruckbereich begrenzbar ist.

5

Die Aufgabe wird weiterhin gelöst durch ein Kraftstoffzumesssystem für eine Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs, mit wenigstens einer Förderpumpe zur Förderung von Kraftstoff in wenigstens einen Hochdruckbereich, mit wenigstens einem Einspritzventil zur direkten Einspritzung des Kraftstoffs aus dem Hochdruckbereich in wenigstens einen Brennraum mit wenigstens einem Sensor zur Erfassung des Druckes im Hochdruckbereich, mit wenigstens einem Druckstellglied zur Einstellung des Druckes im Hochdruckbereich, wobei die zeitliche Änderung des Druckes im Hochdruckbereich begrenzbar ist.

10

15

20

Weitere Merkmale, Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, die in den Figuren gezeigt sind.

#### Ausführungsbeispiele der Erfindung

Figur 1 zeigt ein erfindungsgemäßes Steuergerät sowie ein erfindungsgemäßes Kraftstoffzumesssystem für eine Brennkraftmaschine,

30

Figur 2 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Figur 3 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens und

35



Figur 4 zeigt ein mögliches Ablaufdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Figur 1 zeigt ein erfindungsgemäßes Steuergerät 16, das eine Brennkraftmaschine ansteuert. Bei der Brennkraftmaschine ist ein Kolben 2 in einem Zylinder 3 hin- und herbewegbar. Der Zylinder 3 ist mit einem Brennraum 4 versehen, an den über Ventile 5 ein Ansaugrohr 6 und ein Abgasrohr 7 angeschlossen sind. Des Weiteren sind mit dem Brennraum 4 ein mit dem Signal TI ansteuerbares Einspritzventil 8 und eine mit einem Signal ZW ansteuerbare Zündkerze 9 verbunden. Die Signale TI und ZW werden hierbei von dem Steuergerät 16 an das Einspritzventil 8 bzw. die Zündkerze 9 übertragen.

Das Ansaugrohr 6 ist mit einem Luftmassensensor 10 und das Abgasrohr 7 mit einem Lambdasensor 11 versehen. Der Luftmassensensor 10 misst die Luftmasse der dem Ansaugrohr 6 zugeführten Frischluft und erzeugt in Abhängigkeit davon ein Signal LM. Der Lambdasensor 11 misst den Sauerstoffgehalt des Abgases in dem Abgasrohr 7 und erzeugt in Abhängigkeit davon ein Signal Lambda. Die Signale des Luftmassensensors 10 und des Lambdasensors 11 werden dem Steuergerät 16 zugeführt.

In dem Ansaugrohr 6 ist eine Drosselklappe 12 untergebracht, deren Drehstellung mittels eines Signals DK einstellbar ist. Weiterhin kann das Abgasrohr 7 über eine hier nicht dargestellte Abgasrückführungsleitung (AGR) mit dem Ansaugrohr 6 verbunden sein. Die Steuerung der Abgasrückführung kann beispielsweise über ein von dem Steuergerät 16 ansteuerbares, hier ebenfalls nicht dargestelltes, Abgasrückführventil erfolgen.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann sowohl bei einer Diesel- als auch bei einer Benzinbrennkraftmaschine Anwendung

finden. Im Rahmen dieses Ausführungsbeispiels ist das  
erfindungsgemäße Verfahren anhand einer direkteinspritzenden  
Benzinbrennkraftmaschine beschrieben. Eine solche  
direkteinspritzende Benzinbrennkraftmaschine kann in  
5 verschiedenen Betriebsarten betrieben werden. In einer  
ersten Betriebsart, dem Homogenbetrieb der  
Brennkraftmaschine, wird die Drosselklappe 12 in  
Abhängigkeit von der erwünschten, zugeführten Luftmasse  
teilweise geöffnet bzw. geschlossen. Der Kraftstoff wird von  
10 dem Einspritzventil 8 während einer durch den Kolben 2  
hervorgerufenen Ansaugphase in den Brennraum 4 eingespritzt.  
Durch die gleichzeitig angesaugte Luft wird der  
eingespritzte Kraftstoff verwirbelt und damit im Brennraum 4  
im Wesentlichen gleichmäßig/homogen verteilt. Danach wird  
15 das Kraftstoffluftgemisch während der Verdichtungsphase  
verdichtet, um dann von der Zündkerze 9 entzündet zu werden.  
Durch die Ausdehnung des entzündeten Kraftstoffs wird der  
Kolben 2 angetrieben. In dieser ersten Betriebsart, dem  
Homogenbetrieb, ist das Drehmoment der Brennkraftmaschine im  
20 Wesentlichen proportional zur zugeführten Luftmasse, weshalb  
diese Betriebsart auch als luftgeführt bezeichnet wird.

In einer zweiten Betriebsart, dem Schichtbetrieb der  
Brennkraftmaschine, wird die Drosselklappe 12 weit geöffnet.  
Der Kraftstoff wird von dem Einspritzventil 8 während einer  
durch den Kolben 2 hervorgerufenen Verdichtungsphase in den  
Brennraum eingespritzt.. Dann wird mit Hilfe der Zündkerze 9  
der Kraftstoff entzündet, so dass der Kolben 2 in der  
nunmehr folgenden Arbeitsphase durch die Ausdehnung des  
30 entzündeten Kraftstoffs angetrieben wird. In dieser zweiten  
Betriebsart ist das von der Brennkraftmaschine erzeugte  
Drehmoment im Wesentlichen abhängig von der in dem Brennraum  
4 eingebrachten Kraftstoffmasse. Deshalb wird diese zweite  
Betriebsart, der Schichtbetrieb, auch als kraftstoffgeführte  
35 Betriebsart bezeichnet. Insbesondere in dieser zweiten

Betriebsart erlangt somit das erfindungsgemäße Verfahren besondere Bedeutung.

5 Die Brennkraftmaschine kann mit Hilfe des Steuergerätes zwischen den verschiedenen Betriebsarten umschalten. In allen Betriebsarten wird durch den angetriebenen Kolben 2 eine Kurbelwelle 14 in eine Drehbewegung versetzt, über die letztendlich die Räder des Kraftfahrzeugs angetrieben werden. Auf der Kurbelwelle 14 ist ein Zahnrad angeordnet, 10 durch das die Zähne von einem unmittelbar gegenüber angeordneten Drehzahlsensor 15 abgetastet werden. Der Drehzahlsensor 15 erzeugt ein Signal, aus dem die Drehzahl N der Kurbelwelle 14 ermittelt wird und übermittelt dieses Signal N an das Steuergerät 16.

15 In allen Betriebsarten wird die von dem Einspritzventil 8 in den Brennraum eingespritzte Kraftstoffmasse von dem Steuergerät 16, insbesondere im Hinblick auf einen geringen Kraftstoffverbrauch und/oder eine geringe 20 Schadstoffentwicklung und/oder ein gewünschtes Sollmoment gesteuert und/oder geregelt. Auch die erfindungsgemäße Begrenzung der zeitlichen Änderung des Druckes im Hochdruckbereich in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren erfolgt in dem Steuergerät 16. Zu diesem Zweck ist das Steuergerät 16 mit einem Mikroprozessor versehen, der in einem Speichermedium Programmcode abgespeichert hat, der dazu geeignet ist, die gesamte erfindungsgemäße Steuerung des Kraftstoffzumesssystems durchzuführen.

30 Das Steuergerät 16 nach Figur 1 ist weiterhin mit einem Fahrpedalsensor 17 verbunden, der ein Signal FP erzeugt, das die Stellung eines von einem Fahrer betätigbaren Fahrpedals/Gaspedals und damit das von dem Fahrer angeforderte Moment angibt. Entsprechend weiterer 35 Betriebsbedingungen und dem vom Fahrer angeforderten Moment

wird vom Steuergerät 16 die aktuell auszuführende Betriebsart ausgewählt und entsprechend angesteuert und/oder geregelt.

5 Sowohl bei einer direkteinspritzenden Diesel- als auch bei einer direkteinspritzenden Benzinbrennkraftmaschine wird der Kraftstoff mit Hochdruck über das Einspritzventil 8 in den Brennraum 4 eingespritzt. Im Ausführungsbeispiel nach Figur 1 ist ein sogenanntes Common-Rail mit 1 bezeichnet. Das  
10 Common-Rail 1, in dem der Kraftstoff unter Hochdruck steht, ist über eine Verbindungsleitung 20 mit dem Einspritzventil 8 verbunden. An dem Common-Rail 1 sind ein Druckstellglied 18 und ein Drucksensor 19 angeordnet. Das Druckstellglied wird mittels eines Signals DS vom Steuergerät 16  
15 angesteuert, um einen gewünschten Druck bzw. einen gewünschten Raildruckgradienten, im Common-Rail 1 zu realisieren. Der aktuelle Druck im Common-Rail wird vom Drucksensor 19 gemessen und das Drucksignal P an das Steuergerät 16 übertragen. In der Darstellung nach Figur 1  
20 wurde auf die Darstellung einer Vorförderpumpe, die den Kraftstoff aus dem Tank des Kraftfahrzeug in einen Niederdruckbereich fördert, und auf eine Hochdruckförderpumpe, die den Kraftstoff aus dem Niederdruckbereich in das Common-Rail fördert, verzichtet, da dies nicht erfindungswesentlich ist.

Weiterhin nicht dargestellt ist eine Rücklaufleitung, die das Druckstellglied 18 mit dem Niederdruckbereich verbindet. Über diese Rücklaufleitung ist es dem Druckstellglied  
30 möglich, je nach Ansteuersignal DS eine bestimmte Kraftstoffmasse aus dem Common-Rail, wo der Kraftstoff unter Hochdruck steht, zurück in den Niederdruckbereich zu entspannen. Auf diese Weise kann vom Druckstellglied Einfluss auf den Druck im Common-Rail genommen werden. Die  
35 Erfindung ist hierbei nicht auf ein spezifisches

Druckstellglied beschränkt, sondern arbeitet prinzipiell mit jeder Vorrichtung zusammen, die es vermag, den Druck im Common-Rail zu variieren.

5 Das in dem Steuergerät 16 implementierte erfindungsgemäße Verfahren wird im Rahmen der nachfolgenden Figuren 2, 3 und 4 eingehender erläutert.

10 Figur 2 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens. In der Darstellung nach Figur 2 ist auf der waagerechten Achse die Zeit T in Sekunden und auf der senkrechten Achse der Raildruck P in Megapascal dargestellt. Die gezeigten Kurvenverläufe 21, 22 und 23 stellen erfindungsgemäß begrenzte Raildruckanstiege dar. Das Ausführungsbeispiel nach Figur 2 gilt hierbei für 15 eine Motorumdrehungszahl N von 1000 Umdrehungen pro Minute. Praktisch könnte Figur 2 einen Raildruckaufbau nach einem Motorstart darstellen, wobei der Motor im Stillstand des Kraftfahrzeugs mit einer Leerlaufdrehzahl von 1000 20 Umdrehungen pro Minute betrieben wird. Der Raildruck zum Zeitpunkt  $T=0$  entspricht sowohl in Figur 2 als auch in der nachfolgenden Figur 3 dem Vordruck, der beispielsweise durch eine elektrische betriebene Kraftstoffpumpe (EKP) erzeugt wird.

25 Es gibt im Rahmen dieser Erfindung verschiedene Möglichkeiten, den Raildruck P bzw. den Raildruckgradienten auf einen maximalen Wert zu begrenzen. Im Weiteren werden drei verschiedene Möglichkeiten zur Bestimmung eines 30 maximalen Raildruckgradienten dargelegt.

In der Darstellung nach Figur 2 ist erkennbar, dass die Kurvenverläufe 22 und 23 identisch sind. Dies liegt daran, dass die Bestimmung des maximalen Raildruckgradientens unter 35 den in Figur 2 gegebenen Betriebsbedingungen (insbesondere

Motorumdrehungszahl N von 1000 Umdrehungen pro Minute) bei diesen beiden Bestimmungsmöglichkeiten des Raildruckgradientens zu dem gleichen Ergebnis führt.

5 Der Kurvenverlauf 21 stellt eine erste Möglichkeit dar, den Raildruckgradienten auf einen Maximalwert zu begrenzen. In dieser ersten Variante wird der Raildruckgradient in Abhängigkeit von einer maximal möglichen Förderung der Hochdruckpumpe begrenzt. Systembedingt könnte die  
10 Hochdruckpumpe im Wesentlichen keinen höheren Raildruckanstieg realisieren, als dies mit dem Kurvenverlauf 21 gezeigt ist. Zur Unterstützung der Raildruckregelung ist es jedoch sinnvoll, den Raildruckgradienten steuerungstechnisch zu begrenzen. Die wesentlichen  
15 Einflussfaktoren hierbei sind die Drehzahl N und die Last der Brennkraftmaschine im aktuellen Betriebspunkt. Dementsprechend, da das Förderverhalten der Förderpumpe bzw. der Hochdruckpumpe bekannt ist, sind in einem Speicher des Steuergeräts 16 zulässige Druckgradientenwerte in drehzahl-  
20 und lastabhängigen Kennfeldern abgelegt.

Der Kurvenverlauf 22 in Figur 2 stellt eine zweite Möglichkeit zur Begrenzung der zeitlichen Änderung des Drucks im Hochdruckbereich dar. Hierbei wird, ebenso wie  
2 beim Kurvenverlauf 23, die Begrenzung im Wesentlichen von einem vorgebbaren Einspritzmengenfehler EMF abhängig gemacht. Weitere Eingangsgrößen zur Berechnung der Begrenzung des Raildruckgradientens sind die Anzahl der Nocken AN, über die die Hochdruckpumpe angetrieben wird, die  
30 Motordrehzahl N, der aktuelle Raildruck P sowie das Rechenraster TR. Unter dem Rechenraster TR ist die Zeit zu verstehen, die zwischen zwei Zeitpunkten vergeht, zu denen eine Raildruckgradientenberechnung durchgeführt wird. Bezogen auf das Rechenraster TR ergibt sich somit eine

zulässige Änderung des Raildrucks  $\Delta P$  nach folgender Formel:

$$\Delta P / TR = P * (EMF * EMF - 1) * TR * N * AN / 120$$

5

Der aktuelle Raildruck  $P$ , den obige Formel einschließt, wird beispielsweise mit dem Drucksensor 19 nach Figur 1 erfasst. Da der Raildruck  $P$  nur zu diskreten Zeitpunkten erfasst wird, ist der Einfluss der Abtastzeit  $TA$  insbesondere bei größeren Motordrehzahlen  $N$  nicht mehr vernachlässigbar. Insbesondere bei hohen Motordrehzahlen  $N$  und in Abhängigkeit von der Abtastfrequenz  $TA$  des Raildrucks  $P$  ist eine Begrenzung des Raildruckgradienten bezogen auf die doppelte Abtastfrequenz  $2 * TA$  zweckmäßig. Dies ist die für den Kurvenverlauf 23 verwendete Berechnungsmethodik. Im Detail ergibt sich somit die maximal zulässige Raildruckänderung je Rechenraster  $TR$  nach der folgenden Formel:

10

15

$$\Delta P / TR = P * (EMF * EMF - 1) * TR / (2 * TA)$$

20

Im Bereich niedriger Drehzahlen  $N$ , wie in Figur 2 mit 1000 Umdrehungen pro Minute, ergibt sich für die beiden Berechnungsformeln der gleiche Raildruckverlauf, so dass die Kurvenverläufe 22 und 23 identisch sind. In der Darstellung nach Figur 2 entspricht der Kurvenverlauf 21 beispielsweise einem konstanten Raildruckgradienten von 0,5 Megapascal je 20 Millisekunden. Der Kurvenverlauf 22 entspricht einem maximalen Einspritzmengenfehler  $EMF$  von 5% je Förderzyklus  $TZ$  der Hochdruckpumpe. Der Kurvenverlauf 23 entspricht einem maximalen Einspritzmengenfehler  $EMF$  von 5% je doppelter Abtastfrequenz  $2 * TA$  des Raildrucks  $P$ .

30

Figur 3 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens. Im Gegensatz zur Darstellung nach Figur 2 ist hierbei ein Druckanstieg im Common-Rail bei

35

einer Motorumdrehungszahl N von 3000 Umdrehungen pro Minute dargestellt. Die Kurve 31 entspricht hierbei, ebenso wie Kurve 21 nach Figur 2, einem konstanten Raildruckgradienten von 0,5 Megapascal je 20 Millisekunden. Die Kurve 32 entspricht, ebenso wie Kurve 22 nach Figur 2, einem maximalen Einspritzmengenfehler EMF von 5% je Förderzyklus TZ der Hochdruckpumpe. Der Kurvenverlauf 33 entspricht, ebenso wie der Kurvenverlauf 23 nach Figur 2, einem maximalen Einspritzmengenfehler EMF von 5% je doppelter Abtastfrequenz  $2 \cdot TA$ . Im Gegensatz zur Darstellung nach Figur 2 wird in Figur 3 der Einfluss der höheren Drehzahl N auf die Berechnungsmöglichkeiten 2 und 3 deutlich.

Es ist sowohl in Figur 2 als auch in Figur 3 zu erkennen, dass der zulässige Raildruckgradient mit steigendem Raildruck P zunimmt. Dies ist durch ein Abnehmen des relativen Einspritzmengenfehlers bei zunehmendem Raildruck P und konstantem Raildruckgradienten bedingt. Erfindungsgemäß wird zu jedem Zeitpunkt T derjenige Raildruckverlauf für die Steuerung vom Steuergerät 16 ausgewählt, die den geringsten Raildruckgradienten aufweist. Dies sind in Figur 2 die Kurvenverläufe 22 und 23 gemeinsam und in Figur 3 der Kurvenverlauf 33. Insgesamt ist der Raildruckaufbau mit der erfindungsgemäßen einspritzmengenfehlerabhängigen maximalen Raildruckgradientenauswahl, insbesondere bei niedrigen Raildrücken, deutlich langsamer als Systeme nach dem Stand der Technik. Es wird jedoch eine Einhaltung eines zulässigen Einspritzmengenfehlers garantiert, was mit Blick auf die Einhaltung von aktuellen und zukünftigen Abgasrichtlinien zwingend erforderlich ist.

Die besonderen Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens liegen in Betriebspunkten, in denen es zu einem schnellen Druckaufbau mit hohem Raildruckgradienten kommt, wie dies beispielsweise in der Nachstartphase oder bei einem



Raildrucksollwertsprung der Fall ist. In diesen Fällen werden mit dem erfindungsgemäßen Verfahren die zulässigen Lambdagrenzwerte eingehalten, was auch durch Vermessen des Lambdawertes und parallelem Beobachten des  
5 Raildruckgradientens bei einem schnellen Druckaufbau belegbar ist.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann, wie vorstehend bereits erläutert, in jeder Betriebssituation des  
10 Kraftstoffversorgungssystems eingesetzt werden, in der ein Raildrucksollwertsprung erfolgt.

Figur 4 zeigt ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens in Form eines Ablaufplanes. Hierbei werden in  
15 einem ersten Schritt 41 Eingangswerte vom Steuergerät 16 erfasst bzw. aus dem Speicher am Steuergerät ausgelesen. Diese Eingangsgrößen für die nachfolgende Berechnung sind z. B. der Raildruck-Istwert, die Abtastzeit des Raildrucks TA, der zulässige Einspritzmengenfehler, das Rechenraster TR,  
20 die Anzahl der Nocken, mit denen die Hochdruckpumpe angetrieben wird, die Zykluszeit TZ des Förderzyklusses der Förderpumpe und die Drehzahl der Brennkraftmaschine. An den Schritt 41 schließt sich ein Schritt 42 an, in dem zunächst überprüft wird, ob die Drehzahl der Brennkraftmaschine oberhalb eines vorgebbaren Schwellenwertes liegt. Je nachdem, ob die Drehzahl oberhalb oder unterhalb des bestimmten Schwellenwertes liegt, wird zwischen den zwei zuvor genannten unterschiedlichen Berechnungsformeln zur Begrenzung des Raildruckgradientens in Abhängigkeit von  
30 einem vorgebbaren Einspritzmengenfehler EMF unterschieden.

An den Schritt 42 schließt sich der Schritt 43 an, in dem im Steuergerät in Abhängigkeit von der Drehzahl N der Brennkraftmaschine und der aktuellen Last der  
35 Brennkraftmaschine aus einem Kennfeld ein applizierter

maximaler Raildruckgradient ausgelesen wird. Im anschließenden Schritt 44 findet eine Minimalwertauswahl zwischen den bestimmten maximalen Raildruckgradienten nach Schritt 43 und Schritt 42 statt. An den Schritt 44 schließt sich der Schritt 45 an, in dem die Ansteuerung des Druckstellglieds 18 entsprechend des maximalen Raildruckgradientens erfolgt, der im Schritt 44 ausgewählt wurde.

Theoretisch besteht eine weitere Lösung der Aufgabe darin, den Raildruck mit aufwendigen Berechnungsmitteln im Voraus zu prädisieren, was allerdings extrem aufwändig und dementsprechend rechenintensiv ist. Diese Möglichkeit übersteigt die dem derzeitigen Stand der Technik entsprechenden Steuergeräte zum Betreiben eines Kraftstoffzumesssystems deutlich. Im Vergleich hierzu stellt die erfindungsgemäße Möglichkeit der Begrenzung des maximalen Raildruckgradientens eine einfache und sichere Lösung dar, die zudem noch kostengünstig ist, da keine zusätzlichen Hardwarekomponenten erforderlich sind.

Abschließend wird nochmals darauf hingewiesen, dass das erfindungsgemäße Verfahren sowohl bei einer Benzin- als auch bei einer Dieselmotorkraftmaschine eingesetzt werden kann. Es liegt im Ermessen des Fachmanns, das erfindungsgemäße Verfahren an die in den verschiedenen Systemen vorherrschenden unterschiedlich hohen Raildrücke anzupassen.

14.03.02 Wj/Bc

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

## Ansprüche

15

20

25

30

1. Verfahren zum Betreiben eines Kraftstoffzumesssystems eines Kraftfahrzeugs, wobei von wenigstens einer Förderpumpe Kraftstoff in wenigstens einen Hochdruckbereich (1) gefördert wird, wobei der Kraftstoff aus dem Hochdruckbereich (1) mittels wenigstens eines Einspritzventils (8) direkt in wenigstens einen Brennraum (4) eingespritzt wird, wobei wenigstens ein Sensor (19) den Druck (P) im Hochdruckbereich erfasst und wobei wenigstens ein Druckstellglied (18) zur Einstellung des Druckes im Hochdruckbereich (1) vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, dass die zeitliche Änderung des Druckes im Hochdruckbereich (1) begrenzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Begrenzung in Abhängigkeit von einer maximal möglichen Förderung der Förderpumpe erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass zulässige Druckgradientenwerte in drehzahl- und lastabhängigen Kennfeldern abgelegt sind.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Begrenzung in Abhängigkeit von einem vorgebbaren Einspritzmengenfehler (EMF) erfolgt.
- 5 5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Begrenzung jeweils für einen Zeitraum (TR) zwischen zwei Raildruckgradientenberechnungen vorgegeben wird.
- 10 6. Verfahren nach Anspruch 1 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Begrenzung wenigstens in Abhängigkeit von einem aktuellen Druck (P) im Hochdruckbereich (1) und/oder einer Abtastrate (TA) der Druckmessung im Hochdruckbereich (1) und/oder einer  
15 Motordrehzahl (N) und/oder spezifischer Daten der Förderpumpe (AN) erfolgt.
- 20 7. Verfahren nach Anspruch 2 und 4, dadurch gekennzeichnet, dass auf wenigstens zwei verschiedene Arten Begrenzungswerte bestimmt werden, dass durch eine Vergleichsoperation der Minimalwert der Begrenzungswerte ermittelt wird, und dass dieser Minimalwert als Begrenzung für die zeitliche Änderung des Druckes im Hochdruckbereich (1) ausgewählt wird.
- 30 8. Computerprogramm für eine Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs, mit einer Abfolge von Befehlen, die dazu geeignet sind, das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 durchzuführen, wenn sie auf einem Computer, insbesondere einem Steuergerät für eine Brennkraftmaschine, ausgeführt werden.
- 35 9. Computerprogramm nach Anspruch 8, wobei die Abfolge von Befehlen auf einem computerlesbaren Datenträger gespeichert ist.

10. Steuergerät zum Betreiben eines Kraftstoffzumesssystems eines Kraftfahrzeugs, wobei von wenigstens einer Förderpumpe Kraftstoff in wenigstens einen Hochdruckbereich (1) gefördert wird, wobei der Kraftstoff aus dem Hochdruckbereich (1) mittels wenigstens eines Einspritzventils (8) direkt in wenigstens einen Brennraum (4) eingespritzt wird, wobei wenigstens ein Sensor (19) den Druck (P) im Hochdruckbereich erfasst und wobei wenigstens ein Druckstellglied (18) zur Einstellung des Druckes im Hochdruckbereich (1) vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, dass die zeitliche Änderung des Druckes im Hochdruckbereich (1) begrenzbar ist.
11. Kraftstoffzumesssystem für eine Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs, mit wenigstens einer Förderpumpe zur Förderung von Kraftstoff in wenigstens einen Hochdruckbereich (1), mit wenigstens einem Einspritzventil (8) zur direkten Einspritzung des Kraftstoffs aus dem Hochdruckbereich (1) in wenigstens einen Brennraum (4), mit wenigstens einem Sensor (19) zur Erfassung des Druckes (P) im Hochdruckbereich und mit wenigstens einem Druckstellglied (18) zur Einstellung des Druckes im Hochdruckbereich (1), dadurch gekennzeichnet, dass die zeitliche Änderung des Druckes im Hochdruckbereich (1) begrenzbar ist.

14.03.02 Wj/Bc

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

Verfahren zum Betreiben eines Kraftstoffzumesssystems eines Kraftfahrzeugs, Computerprogramm, Steuergerät und Kraftstoffzumesssystem

Zusammenfassung

15

20

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Kraftstoffzumesssystems eines Kraftfahrzeugs, wobei von wenigstens einer Förderpumpe Kraftstoff in wenigstens einen Hochdruckbereich gefördert wird, wobei der Kraftstoff aus dem Hochdruckbereich mittels wenigstens eines Einspritzventils direkt in wenigstens einen Brennraum eingespritzt wird, wobei wenigstens ein Sensor den Druck im Hochdruckbereich erfasst und wobei wenigstens ein Druckstellglied zur Einstellung des Druckes im Hochdruckbereich vorgesehen ist. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Computerprogramm für eine Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs sowie ein Steuergerät zum Betreiben eines Kraftstoffzumesssystems eines Kraftfahrzeugs und ein Kraftstoffzumesssystem für eine Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs.

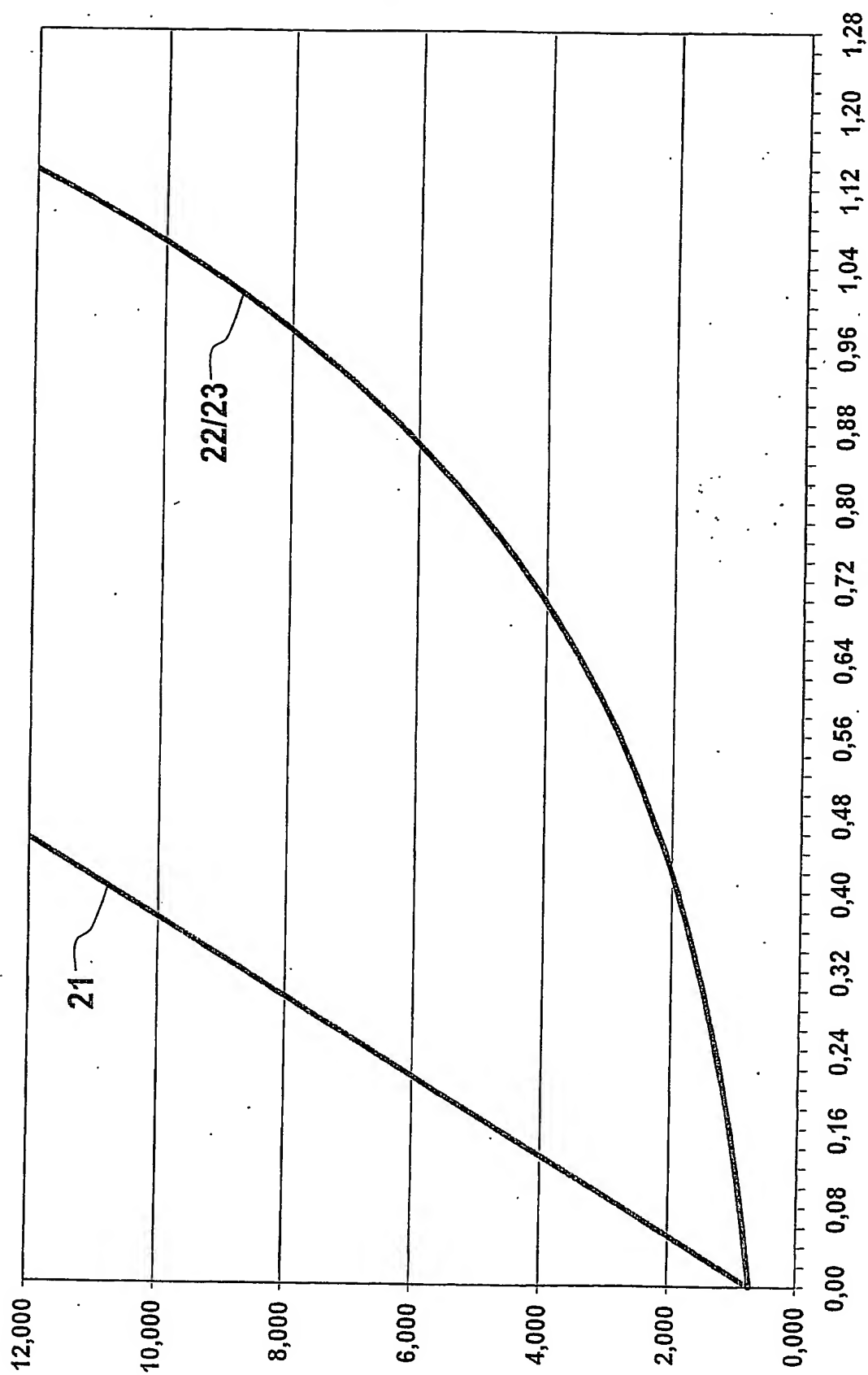
30

(Figur 3)

The diagram illustrates a laser system for a lithographic mask. At the top, a laser source (17) emits a beam (FP) into a resonator (16). The beam is directed through a series of mirrors and lenses (19, 18, 20) to a lens (8) that focuses it onto a mask (4). The mask is mounted on a stage (2) that can move vertically, as indicated by the double-headed arrow. The stage is driven by a motor (13) connected to a gear (14) and a lever (15). The motor is powered by a power supply (N). The mask is illuminated by the laser beam, and the resulting pattern is projected onto a substrate (11) through a lens (9). The substrate is mounted on a stage (6) that can move horizontally, as indicated by the double-headed arrow. The substrate is illuminated by the laser beam, and the resulting pattern is projected onto a substrate (11) through a lens (9). The substrate is mounted on a stage (6) that can move horizontally, as indicated by the double-headed arrow. The substrate is illuminated by the laser beam, and the resulting pattern is projected onto a substrate (11) through a lens (9).

2 / 4

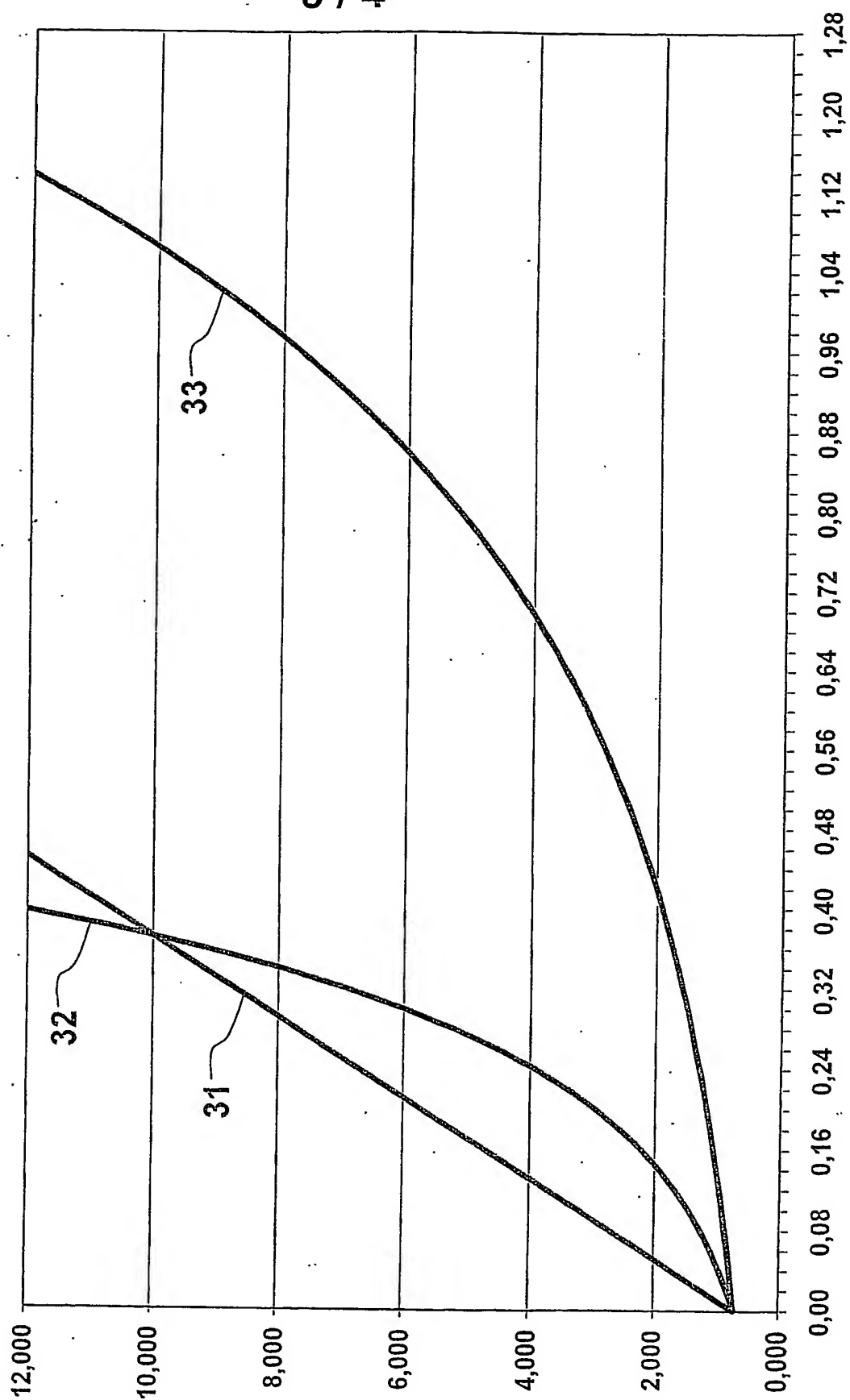
Fig. 2





3 / 4

Fig. 3



4 / 4

Fig. 4

